



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **11142497 A**(43) Date of publication of application: **28 . 05 . 99**

(51) Int. Cl.

G01S 3/74
G01S 7/02
G01S 7/282
G01S 7/292

(21) Application number: **09305547**(22) Date of filing: **07 . 11 . 97**(71) Applicant: **MITSUBISHI ELECTRIC CORP**(72) Inventor: **HIRATA KAZUFUMI**
KIRIMOTO TETSUO(54) **WAVE BEARING DETECTOR**

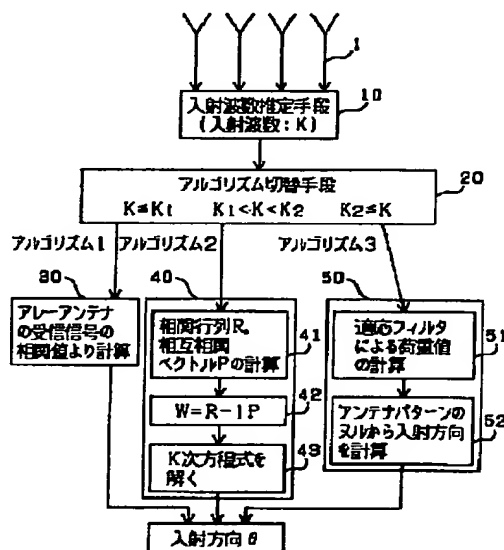
(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a wave bearing detector capable of increasing accuracy by reducing the amount of calculation when the number of incident waves is small.

SOLUTION: This wave bearing detector comprises a array antenna 1; an incident wave estimating means 10 which estimates the number of incident waves; an algorithm selector means 20 which selects an algorithm to obtain a wave input direction according to the number of incident waves; a signal processing device 30 which obtains the input direction from the correlation values of received signals when the number of incident waves is K_1 or less; a signal processing device 40 which calculates the correlated matrixes and inter-correlated vectors of the received signals when the number of incident waves is K_1 or larger and K_2 or less, calculates a load value from the calculated values, and solves an equation with the load value as a factor so as to obtain an input direction; and a signal processing device 50 which calculates the load value with an adaptive filter from the received signals when the number of incident waves is K_2 or larger, calculates an antenna pattern from the load value, and detects the null point of the antenna pattern so as to obtain the input direction. Thus, when the number of incident waves is less, accuracy can be

increased and the amount of calculation can be decreased.

COPYRIGHT: (C)1999,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-142497

(43) 公開日 平成11年(1999) 5月28日

(51) Int.Cl.⁶

G 0 1 S 3/74
7/02
7/282
7/292

識別記号

F I

G 0 1 S 3/74
7/02
7/282
7/292

F
Z
C

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平9-305547

(22) 出願日 平成9年(1997)11月7日

(71) 出願人 000006013

三菱電機株式会社
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72) 発明者 平田 和史

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三
菱電機株式会社内

(72) 発明者 桐本 哲郎

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三
菱電機株式会社内

(74) 代理人 弁理士 曾我 道照 (外6名)

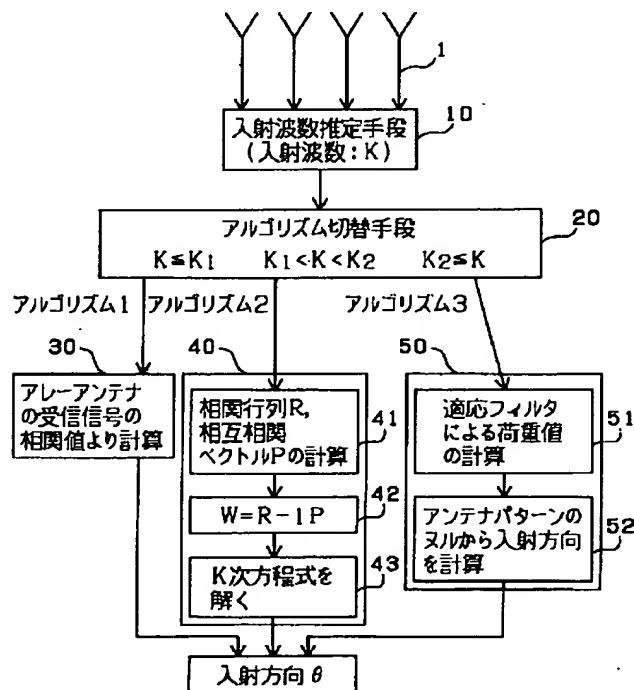
(54) 【発明の名称】 電波方位探知装置

(57) 【要約】

【課題】 従来は入射波数が少ない場合でも演算量が多かった。

【解決手段】 アレーアンテナ1と、入射波数を推定する入射波数推定手段10と、入射波数に応じて電波の入射方向を求めるアルゴリズムを切り替えるアルゴリズム切替手段20と、入射波数が K_1 以下である場合は受信信号の相関値から入射方向を求める信号処理装置30と、入射波数が K_1 より大きく K_2 より小さい場合は受信信号の相関行列及び相互相関ベクトルを計算し、それらから荷重値を計算し、荷重値を係数とする方程式を解いて入射方向を求める信号処理装置40と、入射波数が K_2 より大きい場合には受信信号から適応フィルタにより荷重値を計算し、荷重値からアンテナパターンを計算し、アンテナパターンのヌル点を検出して入射方向を求める信号処理装置50とを備えた。

【効果】 入射波数が少ない場合は精度を高くできるとともに演算量を少なくすることができる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 電波を受信するアレーアンテナと、
前記アレーアンテナの受信信号から入射波数を推定する
入射波数推定手段と、
前記入射波数推定手段により推定された入射波数に応じ
て電波の入射方向を求める信号処理装置を切り替える信
号処理装置切替手段と、
前記入射波数が正の整数である第 1 の定数以下である場
合は、前記アレーアンテナの受信信号の相関値に基づい
て電波の入射方向を求める第 1 の信号処理装置と、
前記入射波数が前記第 1 の定数より大きく、正の整数で
あって前記第 1 の定数より大きい値の第 2 の定数より小
さい場合は、前記アレーアンテナの受信信号の相関行列
及び相互相関ベクトルを計算し、前記相関行列及び相互
相関ベクトルから荷重値を計算し、前記荷重値を係数と
する所定の方程式を解いて電波の入射方向を求める第 2
の信号処理装置と、
前記入射波数が前記第 2 の定数より大きい場合には、前
記アレーアンテナの受信信号から適応フィルタにより荷
重値を計算し、前記荷重値からアンテナパターンを計算
し、前記アンテナパターンのヌル点を検出して電波の入
射方向を求める第 3 の信号処理装置とを備えたことを特
徴とする電波方位探知装置。

【請求項 2】 前記第 1 の信号処理装置は、前記アレー
アンテナの 2 つの素子アンテナの受信信号の相関値を計
算してその結果から 2 つの素子アンテナの受信位相差を
計算して入射方向を求め、
前記第 2 の信号処理装置は、前記アレーアンテナの一部
の受信信号の相関処理を行って部分的な相関行列と相互
相関ベクトルを計算し、前記部分的な相関行列と相互相
関ベクトルから信号の平均電力を最小化する荷重値を計
算し、前記荷重値を係数とする前記入射波数と同じ次数
の方程式を解いて入射方向を求め、
前記第 3 の信号処理装置は、信号の平均電力を最小化す
る荷重値を適応フィルタにより漸化的に計算し、前記ア
レーアンテナの各素子に荷重値を乗じた場合のアンテナ
パターンを計算し、前記アンテナパターンのヌル点を検
出して電波の入射方向を求めることを特徴とする請求項
1 記載の電波方位探知装置。

【請求項 3】 前記入射波数推定手段は、入射波が周波
数の異なる狭帯域な信号である場合には受信信号のスペ
クトルから入射波数を推定することを特徴とする請求項
1 又は 2 記載の電波方位探知装置。

【請求項 4】 前記入射波数推定手段は、前記アレーア
ンテナの受信信号の相関処理を行い相関行列を計算し、
前記相関行列の固有値を計算し、前記固有値の大きさか
ら入射波数を推定することを特徴とする請求項 1 又は 2
記載の電波方位探知装置。

【請求項 5】 電波を受信するアレーアンテナと、
前記アレーアンテナの受信信号の相関処理を行い相関行

列を計算し、前記相関行列の固有値を計算し、前記固有
値の大きさから入射波数を推定する入射波数推定手段
と、

前記入射波数推定手段により推定された入射波数に応じ
て電波の入射方向を求める信号処理装置を切り替える信
号処理装置切替手段と、

前記入射波数が正の整数である第 1 の定数以下である場
合は、前記アレーアンテナの 2 つの素子アンテナの受信
信号の相関値を計算してその結果から 2 つの素子アンテ
ナの受信位相差を計算して入射方向を求める第 1 の信号
処理装置と、

前記入射波数が前記第 1 の定数より大きく、正の整数で
あって前記第 1 の定数より大きい値の第 2 の定数より小
さい場合は、前記相関行列から信号の平均電力を最小化
する荷重値を計算し、前記荷重値を係数とする前記入射
波数と同じ次数の方程式を解いて入射方向を求める第 2
の信号処理装置と、

前記入射波数が前記第 2 の定数より大きい場合には、信
号の平均電力を最小化する荷重値を適応フィルタにより
漸化的に計算し、前記アレーアンテナの各素子に荷重値
を乗じた場合のアンテナパターンを計算し、前記アンテ
ナパターンのヌル点を検出して電波の入射方向を求める
第 3 の信号処理装置とを備えたことを特徴とする電波方
位探知装置。

【請求項 6】 電波を受信するアレーアンテナと、
前記アレーアンテナの受信信号の相関処理を行い相関行
列を計算し、前記相関行列の固有値を計算し、前記固有
値の大きさから入射波数を推定する入射波数推定手段
と、

前記入射波数推定手段により推定された入射波数に応じ
て電波の入射方向を求める信号処理装置を切り替える信
号処理装置切替手段と、

前記入射波数が 1 である場合は、前記固有値のうち最も
大きな固有値に対応する固有ベクトルを算出し、前記固
有ベクトルをステアリングベクトルとして入射方向を求
める第 1 の信号処理装置と、

前記入射波数が 1 より大きく、正の整数であって 1 より
大きい値の定数より小さい場合は、前記相関行列から信
号の平均電力を最小化する荷重値を計算し、前記荷重値
を係数とする前記入射波数と同じ次数の方程式を解いて
入射方向を求める第 2 の信号処理装置と、

前記入射波数が前記定数より大きい場合には、信号の平
均電力を最小化する荷重値を適応フィルタにより漸化的
に計算し、前記アレーアンテナの各素子に荷重値を乗じ
た場合のアンテナパターンを計算し、前記アンテナパタ
ーンのヌル点を検出して電波の入射方向を求める第 3 の
信号処理装置とを備えたことを特徴とする電波方位探知
装置。

【請求項 7】 電波を受信するアレーアンテナと、
前記アレーアンテナの受信信号の相関処理を行い相関行

列を計算し、前記相関行列の固有値を計算し、前記固有値の大きさから入射波数を推定する入射波数推定手段と、

前記入射波数推定手段により推定された入射波数に応じて電波の入射方向を求める信号処理装置を切り替える信号処理装置切替手段と、

前記入射波数が1である場合は、前記固有値のうち最も大きな固有値に対応する固有ベクトルを算出し、前記固有ベクトルをステアリングベクトルとして入射方向を求める第1の信号処理装置と、

前記入射波数が1より大きい場合には、ノイズに対応した固有値に対応する固有ベクトルを求め、前記アレーアンテナの各方位に対する位相特性や振幅特性を要素として持つステアリングベクトルと前記固有ベクトルから方位評価関数を算出し、前記方位評価関数のピークを検出して入射方向を求める第2の信号処理装置とを備えたことを特徴とする電波方位探知装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、アレーアンテナの受信信号から、複数の入射波の到来方向を測定する電波方位探知装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来の電波方位探知装置について図5を参照しながら説明する。図5は、例えばR. O. Schmidt, "Multiple Emitter Location and Signal Parameter Estimation", IEEE Trans. Antennas Propag., Vol. AP-34, No. 3, PP. 276-280 (March 1986) に示された従来のミュージック (MUSIC: multiple signal classification) アルゴリズムを用いた電波方位探知装置を示す図である。

【0003】図5において、1はアレーアンテナでありその受信信号をMUSIC処理器2に入力する。

*

$$\begin{bmatrix} x_0 \\ x_1 \\ \vdots \\ x_{M-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a(\theta_0) & a(\theta_1) & \dots & a(\theta_{K-1}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_0 \\ s_1 \\ \vdots \\ s_{K-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_0 \\ n_1 \\ \vdots \\ n_{M-1} \end{bmatrix} \quad (1)$$

【0009】上記の式(1)の $a(\theta_k)$ は、次の式(2)で示される到来方向 θ_k に対応したステアリングベクトルである。

※

$$a(\theta_k) = \begin{bmatrix} a_0(\theta_k) & a_1(\theta_k) & \dots & a_{M-1}(\theta_k) \end{bmatrix}^T \quad (2)$$

$$a_m(\theta_k) = g_m(\theta_k) \exp\left(j \frac{2\pi}{\lambda} p_k \cdot d_m\right) \quad (3)$$

【0011】上記の式(3)において、 $g_m(\theta_k)$ は素子アンテナ m の到来方向 θ_k の「複素ゲイン」、 $\exp(j(2\pi/\lambda) p_k \cdot d_m)$ は受信位相差を表す複素数

50

*【0004】また、同図において、3～7はMUSIC処理器2内の処理フローを示している。3はアレーアンテナ1の出力を入力して、各アレー素子間の相関を求めて「相関行列 R 」を計算するステップ、4は相関行列 R の「固有値 λ 」、及び「固有ベクトル e 」を計算するステップ、5はステップ4で求められた固有値のうちノイズに対応した固有値に対応する固有ベクトルを算出するステップ、6は測定する各方位に対する各アレーアンテナ1の受信位相差や、利得の情報を持つ「ステアリングベクトル」とステップ5で得られる固有ベクトルの内積の絶対値の2乗の逆数を「方位評価関数 $P(\theta)$ 」として算出するステップ、7はステップ6で得られる方位評価関数 $P(\theta)$ に現れるピークから入射波の到来方向 θ を推定するステップである。

【0005】つぎに、前述した従来のMUSICアルゴリズムを用いた電波方位探知装置の動作について説明する。

【0006】MUSICアルゴリズムは、 M 個の素子アンテナを有するアレーアンテナ1に、 M より少ない K 波の信号が入射する場合に、アレーアンテナ1の受信信号の相関行列 R のノイズに対応した固有値に対応する固有ベクトルと電波の入射方向に対応するステアリングベクトルが直交する性質を利用した方探アルゴリズムである。

【0007】アレーアンテナ1を構成する素子アンテナは、無指向性のアンテナとし、 m 番目のアレー素子アンテナの受信信号を「 x_m 」、ノイズを「 n_m 」、 k 番目の到来電波「 s_k 」、到来方向を「 θ_k 」とする。このとき、アレーアンテナ1の「受信信号列ベクトル」は、次の式(1)のように表される。

【0008】

【数1】

※【0010】

【数2】

である。また、 p_k は θ_k 方向の「単位ベクトル」、 d_m は素子アンテナ m の「位置ベクトル」である。

【0012】上記の式(1)において、左辺の受信信号

ベクトルを「X」、ステアリングベクトルで構成される行列を「A」、到来信号ベクトルを「S」、ノイズベクトルを「N」とすると、次の式(4)のように書き換え*

$$X=AS+N$$

【0014】相関行列Rは、上記の式(4)から、 XX^H として求められる。以上の処理が図5のステップ3において行われる処理である。アレーアンテナ数 $M>$ 到来信号数 K の時、相関行列Rの最小固有値は受信機雑音に対応し、その固有ベクトル E_{\min} と電波到来方向 θ_1 に対応したステアリングベクトル $a(\theta_1)$ とは直交する性 ※10

$$P(\theta)=1/|a(\theta)^H E_{\min}|^2$$

【0016】なお、相関行列Rの固有値及び固有ベクトルは図5のステップ4により求められ、図5のステップ5において、求められたM個の固有値のうち最小な固有値 λ_{\min} に対応する固有ベクトル E_{\min} が選定され、式

(5)に示す処理は、図5のステップ6において行われる。式(5)に示した方位評価関数より、固有ベクトル E_{\min} と電波到来方向 θ に対応したステアリングベクトル $a(\theta)$ が直交する時に、方位評価関数 $P(\theta)$ は極大となり、この方向 θ が電波の到来方向として求められる。図5のステップ7では、この方位評価関数に現れるピークから入射波の到来方向を推定する。

【0017】MUSICアルゴリズムでは、全方向 θ に対し、方位評価関数 $P(\theta)$ を求めることが理想であるが、現実には離散的な θ 列に対してしか、方位評価関数 $P(\theta)$ を計算することができない。この θ 列のポイント数を i とする。このとき、(測定する全方位角)/ i の分解能で方位評価関数を計算することができ、ポイント数 i が大きい程、より高分解能な方探が可能となるが、それだけ演算量が増大する欠点がある。

【0018】

【発明が解決しようとする課題】上述したような従来のMUSICアルゴリズムを用いた電波方位探知装置では、入射波数が少ない場合でも演算量が多い処理を行う必要があり、精度を上げるためにはさらに測定時間がかかるという問題点があった。

【0019】この発明は、前述した問題点を解決するためになされたもので、入射波数が少ない場合には演算量を少なくでき、精度を高めることができる電波方位探知装置を得ることを目的とする。

【0020】

【課題を解決するための手段】この発明に係る電波方位探知装置は、電波を受信するアレーアンテナと、前記アレーアンテナの受信信号から入射波数を推定する入射波数推定手段と、前記入射波数推定手段により推定された入射波数に応じて電波の入射方向を求める信号処理装置を切り替える信号処理装置切替手段と、前記入射波数が正の整数である第1の定数以下である場合は、前記アレー

*られる。

【0013】

【数3】

(4)

※質がある。そこで、MUSICアルゴリズムでは次の式(5)で示されるような $P(\theta)$ を方位評価関数として用いる。

【0015】

【数4】

(5)

ーアンテナの受信信号の相関値に基づいて電波の入射方向を求める第1の信号処理装置と、前記入射波数が前記第1の定数より大きく、正の整数であって前記第1の定数より大きい値の第2の定数より小さい場合は、前記アレーアンテナの受信信号の相関行列及び相互相関ベクトルを計算し、前記相関行列及び相互相関ベクトルから荷重値を計算し、前記荷重値を係数とする所定の方程式を解いて電波の入射方向を求める第2の信号処理装置と、前記入射波数が前記第2の定数より大きい場合には、前記アレーアンテナの受信信号から適応フィルタにより荷重値を計算し、前記荷重値からアンテナパターンを計算し、前記アンテナパターンのヌル点を検出して電波の入射方向を求める第3の信号処理装置とを備えたものである。

【0021】また、この発明に係る電波方位探知装置は、前記第1の信号処理装置が、前記アレーアンテナの2つの素子アンテナの受信信号の相関値を計算してその結果から2つの素子アンテナの受信位相差を計算して入射方向を求め、前記第2の信号処理装置が、前記アレーアンテナの一部の受信信号の相関処理を行って部分的な相関行列と相互相関ベクトルを計算し、前記部分的な相関行列と相互相関ベクトルから信号の平均電力を最小化する荷重値を計算し、前記荷重値を係数とする前記入射波数と同じ次数の方程式を解いて入射方向を求め、前記第3の信号処理装置が、信号の平均電力を最小化する荷重値を適応フィルタにより漸次的に計算し、前記アレーアンテナの各素子に荷重値を乗じた場合のアンテナパターンを計算し、前記アンテナパターンのヌル点を検出して電波の入射方向を求めるものである。

【0022】また、この発明に係る電波方位探知装置は、前記入射波数推定手段が、入射波が周波数の異なる狭帯域な信号である場合には受信信号のスペクトルから入射波数を推定するものである。

【0023】また、この発明に係る電波方位探知装置は、前記入射波数推定手段が、前記アレーアンテナの受信信号の相関処理を行い相関行列を計算し、前記相関行列の固有値を計算し、前記固有値の大きさから入射波数

を推定するものである。

【0024】さらに、この発明に係る電波方位探知装置は、電波を受信するアレーアンテナと、前記アレーアンテナの受信信号の相関処理を行い相関行列を計算し、前記相関行列の固有値を計算し、前記固有値の大きさから入射波数を推定する入射波数推定手段と、前記入射波数推定手段により推定された入射波数に応じて電波の入射方向を求める信号処理装置を切り替える信号処理装置切替手段と、前記入射波数が正の整数である第1の定数以下である場合は、前記アレーアンテナの2つの素子アンテナの受信信号の相関値を計算してその結果から2つの素子アンテナの受信位相差を計算して入射方向を求める第1の信号処理装置と、前記入射波数が前記第1の定数より大きく、正の整数であって前記第1の定数より大きい値の第2の定数より小さい場合は、前記相関行列から信号の平均電力を最小化する荷重値を計算し、前記荷重値を係数とする前記入射波数と同じ次数の方程式を解いて入射方向を求める第2の信号処理装置と、前記入射波数が前記第2の定数より大きい場合には、信号の平均電力を最小化する荷重値を適応フィルタにより漸化的に計算し、前記アレーアンテナの各素子に荷重値を乗じた場合のアンテナパターンを計算し、前記アンテナパターンのヌル点を検出して電波の入射方向を求める第3の信号処理装置とを備えたものである。

【0025】さらに、この発明に係る電波方位探知装置は、電波を受信するアレーアンテナと、前記アレーアンテナの受信信号の相関処理を行い相関行列を計算し、前記相関行列の固有値を計算し、前記固有値の大きさから入射波数を推定する入射波数推定手段と、前記入射波数推定手段により推定された入射波数に応じて電波の入射方向を求める信号処理装置を切り替える信号処理装置切替手段と、前記入射波数が1である場合は、前記固有値のうち最も大きな固有値に対応する固有ベクトルを算出し、前記固有ベクトルをステアリングベクトルとして入射方向を求める第1の信号処理装置と、前記入射波数が1より大きく、正の整数であって1より大きい値の定数より小さい場合は、前記相関行列から信号の平均電力を最小化する荷重値を計算し、前記荷重値を係数とする前記入射波数と同じ次数の方程式を解いて入射方向を求める第2の信号処理装置と、前記入射波数が前記定数より大きい場合には、信号の平均電力を最小化する荷重値を適応フィルタにより漸化的に計算し、前記アレーアンテナの各素子に荷重値を乗じた場合のアンテナパターンを計算し、前記アンテナパターンのヌル点を検出して電波の入射方向を求める第3の信号処理装置とを備えたものである。

【0026】さらに、この発明に係る電波方位探知装置は、電波を受信するアレーアンテナと、前記アレーアンテナの受信信号の相関処理を行い相関行列を計算し、前記相関行列の固有値を計算し、前記固有値の大きさから

入射波数を推定する入射波数推定手段と、前記入射波数推定手段により推定された入射波数に応じて電波の入射方向を求める信号処理装置を切り替える信号処理装置切替手段と、前記入射波数が1である場合は、前記固有値のうち最も大きな固有値に対応する固有ベクトルを算出し、前記固有ベクトルをステアリングベクトルとして入射方向を求める第1の信号処理装置と、前記入射波数が1より大きい場合には、ノイズに対応した固有値に対応する固有ベクトルを求め、前記アレーアンテナの各方位に対する位相特性や振幅特性を要素として持つステアリングベクトルと前記固有ベクトルから方位評価関数を算出し、前記方位評価関数のピークを検出して入射方向を求める第2の信号処理装置とを備えたものである。

【0027】

【発明の実施の形態】実施の形態1. この発明の実施の形態1に係る電波方位探知装置について図1を参照しながら説明する。図1は、この発明の実施の形態1に係る電波方位探知装置の構成を示す図である。なお、各図中、同一符号は同一又は相当部分を示す。

【0028】図1において、1はアレーアンテナ、10はアレーアンテナ1の受信信号から入射波数を推定する入射波数推定手段、20は入射波数推定手段10で求められた入射波数に応じて電波方向探知アルゴリズムを切り替えるアルゴリズム切替手段（信号処理装置切替手段）、30は入射波数Kがある正の整数 K_1 以下である場合（ $K \leq K_1$ ）にアレーアンテナ1の受信信号の相関値より干渉計の原理で入射方位を求める信号処理装置（アルゴリズム1）、40は入射波数Kが K_1 より大きく正の整数 K_2 より小さい場合（ $K_1 < K < K_2$ ）にアレーアンテナ1の受信信号の相関行列及び相互相関ベクトルを算出し相関行列の逆行列と相互相関ベクトルの積から荷重値を計算してこれを係数として持つ方程式の解から入射方位を算出する信号処理装置（アルゴリズム2）、50は入射波数Kが K_2 以上である場合（ $K_2 \leq K$ ）に適応フィルタにより荷重値を計算し、この荷重値から算出されるアンテナパターンのヌルから入射方位を算出する信号処理装置（アルゴリズム3）である。

【0029】つぎに、この実施の形態1の動作について説明する。まず、アレーアンテナ1の受信信号を入射波数推定手段10に入力し、受信信号に含まれる入射波の数を推定する。このような手段として、入射波が周波数の異なる狭帯域な信号である場合には受信信号のスペクトルから入射波数を推定することが出来る。

【0030】次に、アルゴリズム切替手段20によって、入射波数推定手段10で求められた入射波数に応じて電波方位探知に用いるアルゴリズムを切り替える。アルゴリズムを切り替える境界となる入射波数 K_1 、 K_2 は、各アルゴリズムの計算量や精度により決定する。ここでは、例として、 $K_1 = 1$ 、 $K_2 = 5$ とする。また、各素子アンテナは無指向性であり $g_i(\theta_i) = 1$ である

とする。

【0031】まず、入射波数が「1」である場合は、アルゴリズム1を選択する。アルゴリズム1では、処理ステップ30により、2つの素子アンテナの受信信号の相関値を計算してその結果から2つの素子アンテナの受信位相差を計算して入射方向 θ を求める。

$$\begin{aligned} E[x_1^*(k)x_0(k)] &= |s_0|^2 a_1^*(\theta_0) a_0(\theta_0) \\ &= |s_0|^2 \exp\left(j \frac{2\pi}{\lambda} \mathbf{p}_0 \cdot (\mathbf{d}_0 - \mathbf{d}_1)\right) \end{aligned} \quad (6)$$

【0034】この相関値（複素数）の偏角から、入射方向ベクトル \mathbf{p}_0 を求めることができる。このように入射波が1波である場合には、従来のMUSICアルゴリズムによる多くの処理ステップを行う必要なく簡単に入射方向を知ることが出来る。また、MUSICアルゴリズムでは、評価方向ごとにノイズに対応する固有ベクトルとステアリングベクトルの内積から評価関数を求めるため、入射方向と評価方向が一致せず精度が悪くなることが考えられるが、この方法では式(6)から直接、入射方向ベクトル \mathbf{p}_0 を求めるので精度の面でも有効である。

【0035】次に、入射波数が2以上4以下である場合について説明する。この場合には、アルゴリズム2によ

* 【0032】例えば、入射波 s_0 が入射するときアレーアンテナ1の0番目および1番目のアンテナの受信信号の相関値は式(1)～(3)より次の式(6)のようになる。

【0033】

【数5】

※る信号処理装置40を選択する。MUSICアルゴリズムの場合と同様にアレーアンテナ1の一部（例えば、3素子のアレーアンテナであれば2素子、5素子のアレーアンテナであれば4素子）の素子アンテナの相関行列、および相互相関ベクトルを計算する。アレーアンテナ1の素子数を M とし、各素子アンテナの受信信号を $x_0(t)$ 、 $x_1(t)$ 、 \dots 、 $x_{M-1}(t)$ とする。このとき、 $x_1(t) \sim x_{M-1}(t)$ の相関行列 R 、及び $x_0(t)$ と $x_1(t) \sim x_{M-1}(t)$ の相互相関ベクトル P をステップ41において次の式(7)及び式(8)に示すように求める。

【0036】

【数6】

$$R = \begin{pmatrix} E[x_1^*(k)x_1(k)] & E[x_1^*(k)x_2(k)] & \dots & E[x_1^*(k)x_{M-1}(k)] \\ E[x_2^*(k)x_1(k)] & & & \\ \vdots & & & \\ E[x_{M-1}^*(k)x_1(k)] & \dots & & E[x_{M-1}^*(k)x_{M-1}(k)] \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$P = \begin{pmatrix} E[x_1^*(k)x_0(k)] \\ E[x_2^*(k)x_0(k)] \\ \vdots \\ E[x_{M-1}^*(k)x_0(k)] \end{pmatrix} \quad (8)$$

【0037】次に、式(9)により計算される信号 $e(t)$ の平均電力を最小化する荷重 $w_1 \sim w_{M-1}$ をステップ42において式(10)のように求める。

★ 【0038】

【数7】

★ 40

$$e(t) = x_0(t) - \sum_{k=1}^K w_k x_k(t) \quad (9)$$

$$\begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_{M-1} \end{pmatrix} = R^{-1}P \quad (10)$$

【0039】次に、ステップ43において、式(10)で求められた荷重を係数として持つ次の式(11)に示すような u についての K 次方程式を解く。*

$$\sum_{k=1}^K w_k u^k - 1 = 0$$

【0041】上記の式(11)の解(複素数)の偏角から、入射角が求められる。入射波が1波の場合と同様に入射角を解析的に解くので、精度と演算量の面で有効である。しかし、式(10)における逆行列の計算、及び式(11)の K 次方程式を解く計算は入射波の数が多く、次数が増加すると極度に難しくなる。このため、ある次数以上では、パラメータを振って解を見つけなくてはならない。

【0042】上記のような理由から、入射波数が5以上※

$$p(\theta) = \left| a_0(\theta) - \sum_{k=1}^K a_k(\theta) w_k \right|^2$$

【0045】適応フィルタは、入射波の方向のゲインを最小化するように荷重を制御するので、上記の式(12)で計算されるパターンには入射方向にヌルが形成される。この結果、入射波の入射方向 θ を知ることができる。

【0046】以上説明したように、この実施の形態1は入射波の数に応じて方向探知アルゴリズム(信号処理装置)を切り替えるので、特に入射波が少ない場合に、高精度で演算量の少ない方向探知を行うことが出来る。

【0047】実施の形態2。この発明の実施の形態2に係る電波方位探知装置について図2を参照しながら説明★

$$R_a = \begin{pmatrix} E[x_0^*(k)x_0(k)] & E[x_0^*(k)x_1(k)] & \dots & E[x_0^*(k)x_{M-1}(k)] \\ E[x_1^*(k)x_0(k)] & & & \\ \vdots & & & \\ E[x_{M-1}^*(k)x_0(k)] & \dots & & E[x_{M-1}^*(k)x_{M-1}(k)] \end{pmatrix} \quad (13)$$

【0051】次に、ステップ12～13において、相関行列の固有値を算出し、固有値の大きさから入射波数を推定する。固有値の大きさは、受信機雑音に対応するものは小さく一般にばらつきが小さい。入射信号に対応する固有値はノイズに対応するものよりも大きいので、入射波数を判別することが出来る。

【0052】このような方法で入射波数を判別した場合には、上記の実施の形態1におけるステップ41の処理は不要となる。なぜならば、相関行列 R は相関行列 R の2～(M-1)行、2～(M-1)列の要素で構成される行列であり、相互相関ベクトル P は相関行列 R の2～(M-1)行、1列の要素で構成される行列である

*【0040】
【数8】

(11)

※となる場合にはアルゴリズム3による信号処理装置50を選択する。まず、ステップ51において、式(9)の平均電力を最小化する荷重 $w_1 \sim w_{M-1}$ を適応フィルタにより漸化的に求める。

【0043】次に、ステップ52において、式(12)で計算されるようなアレーアンテナ1の各素子に荷重 $w_1 \sim w_{M-1}$ を乗じた場合のアンテナパターンを計算する。

【0044】
【数9】

(12)

★する。図2は、この発明の実施の形態2に係る電波方位探知装置の構成を示す図である。

【0048】この実施の形態2では、上記の実施の形態1の処理のうち、入射波数推定手段10を以下のようなステップ処理により構成する。

【0049】まず、ステップ11において、アレーアンテナ1の受信信号を入力して次の式(13)に示すような相関行列 R_a を算出する。

【0050】
【数10】

からである。このような構成にすることにより、上記の実施の形態1と同様な効果を得ることが出来る。

【0053】実施の形態3。この発明の実施の形態3に係る電波方位探知装置について図3を参照しながら説明する。図3は、この発明の実施の形態3に係る電波方位探知装置の構成を示す図である。

【0054】この実施の形態3では、入射波数推定手段10の推定結果が1であった場合に、上記の実施の形態1及び2のアルゴリズム1(ステップ30)の処理に代わってステップ60の処理(信号処理装置)により入射波の方向探知を行う。

【0055】このステップ60(アルゴリズム1)は、

入射波が1波である場合にステップ12で求められた固有値のなかで最も大きな固有値に対応する固有ベクトルを求める。この固有ベクトルは入射波のステアリングベクトル $\mathbf{a}(\theta_0)$ であるので、これより入射方向 θ を求めることができる。このような構成にすることにより、上記の実施の形態1及び2と同様な効果を得ることが出来る。

【0056】実施の形態4、この発明の実施の形態4に係る電波方位探知装置について図4を参照しながら説明する。図4は、この発明の実施の形態4に係る電波方位探知装置の構成を示す図である。

【0057】この実施の形態4では、アルゴリズム切替手段20において、入射波数 K が K_1 より大きい場合($K_1 < K$)にアルゴリズム2として、従来のMUSICアルゴリズムと同様の処理を信号処理装置70において行う。すなわち、ステップ5～7において、ノイズに対応する固有ベクトルを算出し、この固有ベクトルと評価する方位のステアリングベクトルとから式(5)に示すように方位評価関数 $P(\theta)$ を算出する。この方位評価関数 $P(\theta)$ に現れるピークから入射波の入射方向 θ を求める。このような構成にすることにより、上記実施の形態1ないし3と同様な効果を得ることが出来る。

【0058】

【発明の効果】この発明に係る電波方位探知装置は、以上説明したとおり、電波を受信するアレーアンテナと、前記アレーアンテナの受信信号から入射波数を推定する入射波数推定手段と、前記入射波数推定手段により推定された入射波数に応じて電波の入射方向を求める信号処理装置を切り替える信号処理装置切替手段と、前記入射波数が正の整数である第1の定数以下である場合は、前記アレーアンテナの受信信号の相関値に基づいて電波の入射方向を求める第1の信号処理装置と、前記入射波数が前記第1の定数より大きく、正の整数であって前記第1の定数より大きい値の第2の定数より小さい場合は、前記アレーアンテナの受信信号の相関行列及び相互相関ベクトルを計算し、前記相関行列及び相互相関ベクトルから荷重値を計算し、前記荷重値を係数とする所定の方程式を解いて電波の入射方向を求める第2の信号処理装置と、前記入射波数が前記第2の定数より大きい場合には、前記アレーアンテナの受信信号から適応フィルタにより荷重値を計算し、前記荷重値からアンテナパターンを計算し、前記アンテナパターンのヌル点を検出して電波の入射方向を求める第3の信号処理装置とを備えたので、特に入射波数が少ない場合には精度を高くできるとともに演算量を少なくすることができるという効果を奏する。

【0059】また、この発明に係る電波方位探知装置は、以上説明したとおり、前記第1の信号処理装置が、前記アレーアンテナの2つの素子アンテナの受信信号の相関値を計算してその結果から2つの素子アンテナの受

信位相差を計算して入射方向を求め、前記第2の信号処理装置が、前記アレーアンテナの一部の受信信号の相関処理を行って部分的な相関行列と相互相関ベクトルを計算し、前記部分的な相関行列と相互相関ベクトルから信号の平均電力を最小化する荷重値を計算し、前記荷重値を係数とする前記入射波数と同じ次数の方程式を解いて入射方向を求め、前記第3の信号処理装置が、信号の平均電力を最小化する荷重値を適応フィルタにより漸化的に計算し、前記アレーアンテナの各素子に荷重値を乗じた場合のアンテナパターンを計算し、前記アンテナパターンのヌル点を検出して電波の入射方向を求めるので、特に入射波数が少ない場合には精度を高くできるとともに演算量を少なくすることができるという効果を奏する。

【0060】また、この発明に係る電波方位探知装置は、以上説明したとおり、前記入射波数推定手段が、入射波が周波数の異なる狭帯域な信号である場合には受信信号のスペクトルから入射波数を推定するので、特に入射波数が少ない場合には精度を高くできるとともに演算量を少なくすることができるという効果を奏する。

【0061】また、この発明に係る電波方位探知装置は、以上説明したとおり、前記入射波数推定手段が、前記アレーアンテナの受信信号の相関処理を行い相関行列を計算し、前記相関行列の固有値を計算し、前記固有値の大きさから入射波数を推定するので、特に入射波数が少ない場合には精度を高くできるとともに演算量を少なくすることができるという効果を奏する。

【0062】さらに、この発明に係る電波方位探知装置は、以上説明したとおり、電波を受信するアレーアンテナと、前記アレーアンテナの受信信号の相関処理を行い相関行列を計算し、前記相関行列の固有値を計算し、前記固有値の大きさから入射波数を推定する入射波数推定手段と、前記入射波数推定手段により推定された入射波数に応じて電波の入射方向を求める信号処理装置を切り替える信号処理装置切替手段と、前記入射波数が正の整数である第1の定数以下である場合は、前記アレーアンテナの2つの素子アンテナの受信信号の相関値を計算してその結果から2つの素子アンテナの受信位相差を計算して入射方向を求める第1の信号処理装置と、前記入射波数が前記第1の定数より大きく、正の整数であって前記第1の定数より大きい値の第2の定数より小さい場合は、前記相関行列から信号の平均電力を最小化する荷重値を計算し、前記荷重値を係数とする前記入射波数と同じ次数の方程式を解いて入射方向を求める第2の信号処理装置と、前記入射波数が前記第2の定数より大きい場合には、信号の平均電力を最小化する荷重値を適応フィルタにより漸化的に計算し、前記アレーアンテナの各素子に荷重値を乗じた場合のアンテナパターンを計算し、前記アンテナパターンのヌル点を検出して電波の入射方向を求める第3の信号処理装置とを備えたので、特に入

射波数が少ない場合には精度を高くできるとともに演算量を少なくすることができるという効果を奏する。

【0063】さらに、この発明に係る電波方位探知装置は、以上説明したとおり、電波を受信するアレーアンテナと、前記アレーアンテナの受信信号の相関処理を行い相関行列を計算し、前記相関行列の固有値を計算し、前記固有値の大きさから入射波数を推定する入射波数推定手段と、前記入射波数推定手段により推定された入射波数に応じて電波の入射方向を求める信号処理装置を切り替える信号処理装置切替手段と、前記入射波数が1である場合は、前記固有値のうち最も大きな固有値に対応する固有ベクトルを算出し、前記固有ベクトルをステアリングベクトルとして入射方向を求める第1の信号処理装置と、前記入射波数が1より大きく、正の整数であって1より大きい値の定数より小さい場合は、前記相関行列から信号の平均電力を最小化する荷重値を計算し、前記荷重値を係数とする前記入射波数と同じ次数の方程式を解いて入射方向を求める第2の信号処理装置と、前記入射波数が前記定数より大きい場合には、信号の平均電力を最小化する荷重値を適応フィルタにより漸化的に計算し、前記アレーアンテナの各素子に荷重値を乗じた場合のアンテナパターンを計算し、前記アンテナパターンのヌル点を検出して電波の入射方向を求める第3の信号処理装置とを備えたので、特に入射波数が少ない場合には精度を高くできるとともに演算量を少なくすることができるという効果を奏する。

【0064】さらに、この発明に係る電波方位探知装置は、以上説明したとおり、電波を受信するアレーアンテナと、前記アレーアンテナの受信信号の相関処理を行い相関行列を計算し、前記相関行列の固有値を計算し、前記固有値の大きさから入射波数を推定する入射波数推定手段と、前記入射波数推定手段により推定された入射波数*
30

*数に応じて電波の入射方向を求める信号処理装置を切り替える信号処理装置切替手段と、前記入射波数が1である場合は、前記固有値のうち最も大きな固有値に対応する固有ベクトルを算出し、前記固有ベクトルをステアリングベクトルとして入射方向を求める第1の信号処理装置と、前記入射波数が1より大きい場合には、ノイズに対応した固有値に対応する固有ベクトルを求め、前記アレーアンテナの各方位に対する位相特性や振幅特性を要素として持つステアリングベクトルと前記固有ベクトルから方位評価関数を算出し、前記方位評価関数のピークを検出して入射方向を求める第2の信号処理装置とを備えたので、特に入射波数が少ない場合には精度を高くできるとともに演算量を少なくすることができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明の実施の形態1に係る電波方位探知装置の構成を示す図である。

【図2】 この発明の実施の形態2に係る電波方位探知装置の構成を示す図である。

【図3】 この発明の実施の形態3に係る電波方位探知装置の構成を示す図である。

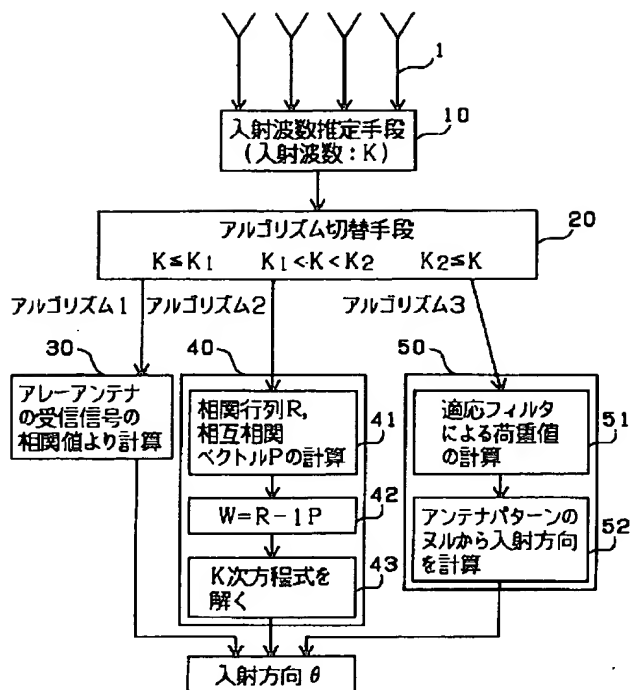
【図4】 この発明の実施の形態4に係る電波方位探知装置の構成を示す図である。

【図5】 従来の電波方位探知装置の構成を示す図である。

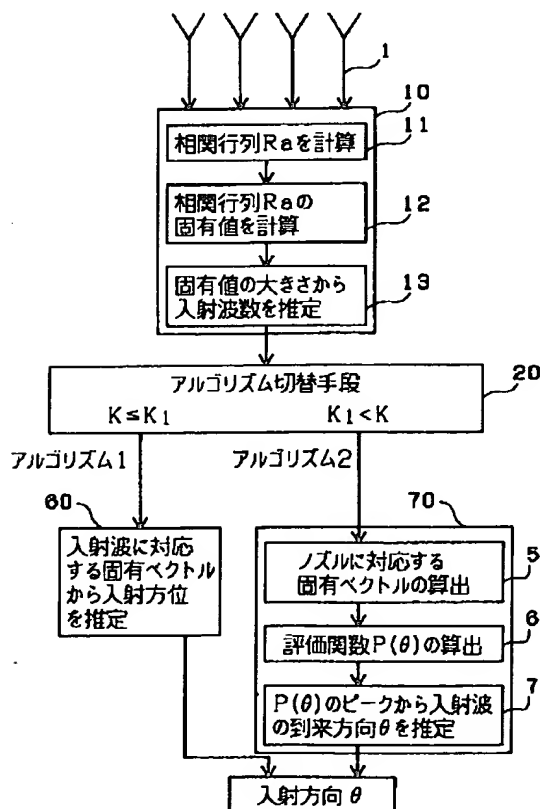
【符号の説明】

1 アレーアンテナ、10 入射波数推定手段、20 アルゴリズム切替手段、30 アルゴリズム1による信号処理装置、40 アルゴリズム2による信号処理装置、50 アルゴリズム3による信号処理装置、60 アルゴリズム1による信号処理装置、70 アルゴリズム2による信号処理装置。

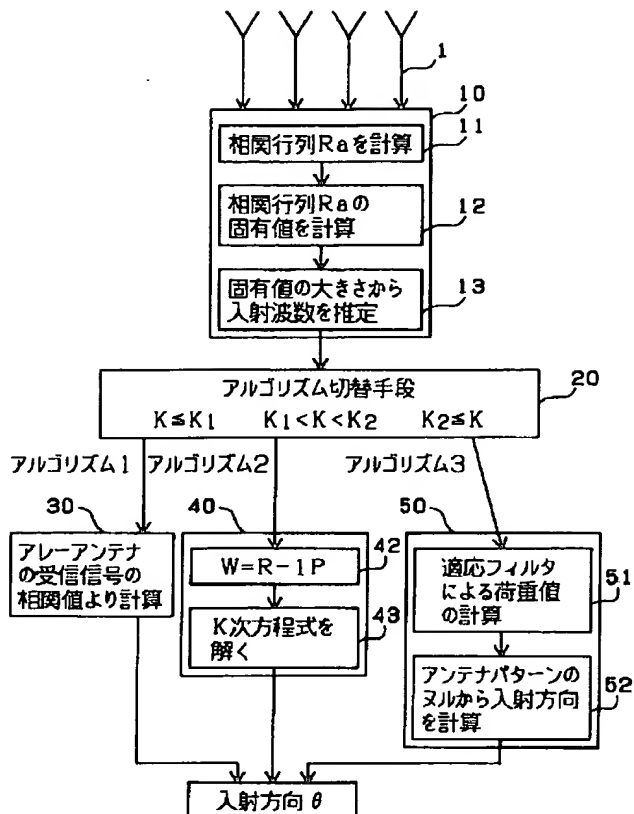
【図 1】



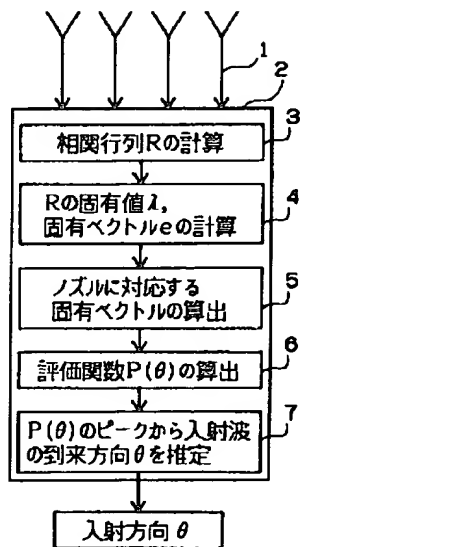
【図 4】



【図 2】



【図 5】



【図 3】

